

Так как при контактном теплообмене  $\alpha = k$ , то величина интенсивности теплоотдачи при контакте в 21 раз больше чем через разделяющую поверхность. Это свидетельствует об уменьшении габаритов теплообменника. Учитывая также циркуляцию, внутри капли, которая возникает под действием сил трения при контакте с газом, существенно сокращается время охлаждения за счет массового теплопереноса. Определение площади теплообмена и дальнейшая разработка теплообменника (2) в схеме будет продолжена в следующих работах.

По предварительным результатам такая схема использования теплоты разливаемой стали с применением ГТУ замкнутого цикла при КПД ГТУ порядка 45 % может позволить сгенерировать около 161 кВт·ч электроэнергии на тонну разливаемой стали

#### Список использованных источников

1. Ассоциация стали [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2014/World-crude-steel-output-increases-by-3-5--in-2013.html> (дата обращения 01.10.2015).
2. Строганов К. В., Картавец С. В. Жидкая сталь: использование теплоты и скоростная разливка: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 147 с.
3. Матвеев С. В., Картавец С. В. Теплота жидкой стали как источник энергии // Энергосбережение теория и практика: 6-я международная школа семинар молодых ученых и специалистов. М. : Издательский дом МЭИ, 2012. С. 93-94.
4. Алловадинова Х. Н., Демин Ю.К., Матвеев С. В., Картавец С. В. Повышение энергетической эффективности процесса непрерывной разливки стали // Промышленная энергетика. 2015. № 2. С. 8-11.
5. Клименко А. В. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы : справочник. / А. В. Клименко, В. М. Зорин. М. : МЭИ, 2007. 528 с.
6. Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки. М. : Энергоатомиздат, 1985. 304 с.

УДК 621.438.082.2

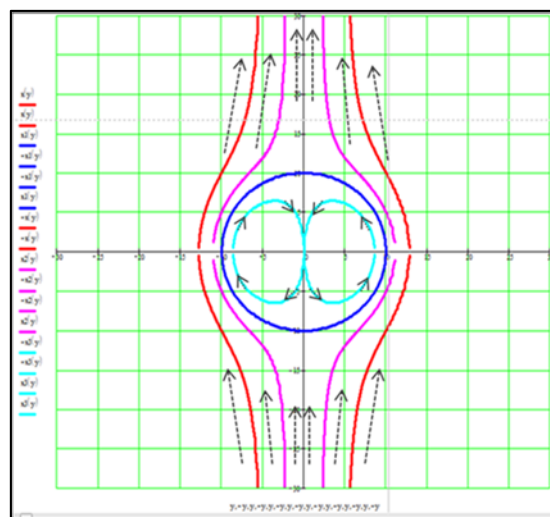


Рис. 3. Линии тока при циркулярном обтекании капли

Помелов Д. Н.

Уральский федеральный университет  
pomelovdenis@gmail.com

## РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ЛОПАТКИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

**Аннотация.** В работе изложены основные этапы расчета аэродинамического демпфирования лопатки. В качестве примера описаны основные действия и приведен результат расчета.

© Помелов Д. Н., 2015

Природный газ – полезное ископаемое, которое широко используется во многих отраслях промышленности. Основным видом транспорта газа является трубопроводный. Для поддержания заданного давления в трубопроводе необходимы компрессорные станции. В состав компрессорных станций входит множество различного оборудования и установок, в частности газотурбинная, работающая на привод нагнетателя. Одним из основных элементов газотурбинной установки является компрессор. Компрессор состоит из лопаток, аэродинамически спроектированных профилей, за счет которых и происходит преобразование механической энергии вращения колеса в потенциальную и кинетическую энергии потока. Таким образом, лопатка – важнейший элемент компрессора и её надежность напрямую влияет на надежность и эффективность работы газотурбинной установки в целом. Поскольку лопатки подвержены различным нагрузкам, в частности газодинамическим, вопрос о склонности лопатки к флаттеру на этапе её проектирования является весьма актуальным.

Флаттером называется автоколебательное движение лопаток, при котором периодически вынуждающая сила возникает в результате отклонения системы из положения равновесия, т. е. самовозбуждающийся процесс аэроупругого взаимодействия профиля лопатки с обтекающим его потоком газа. Наступление флаттера может стать причиной быстрого разрушения лопатки. Поэтому возможность предсказания флаттера лопаток на этапе проектирования повышает уровень надежности двигателя.

На основе анализа работ [1, 2] была выбрана следующая методика расчета, как наиболее подходящая под имеющиеся ресурсы ЭВМ:

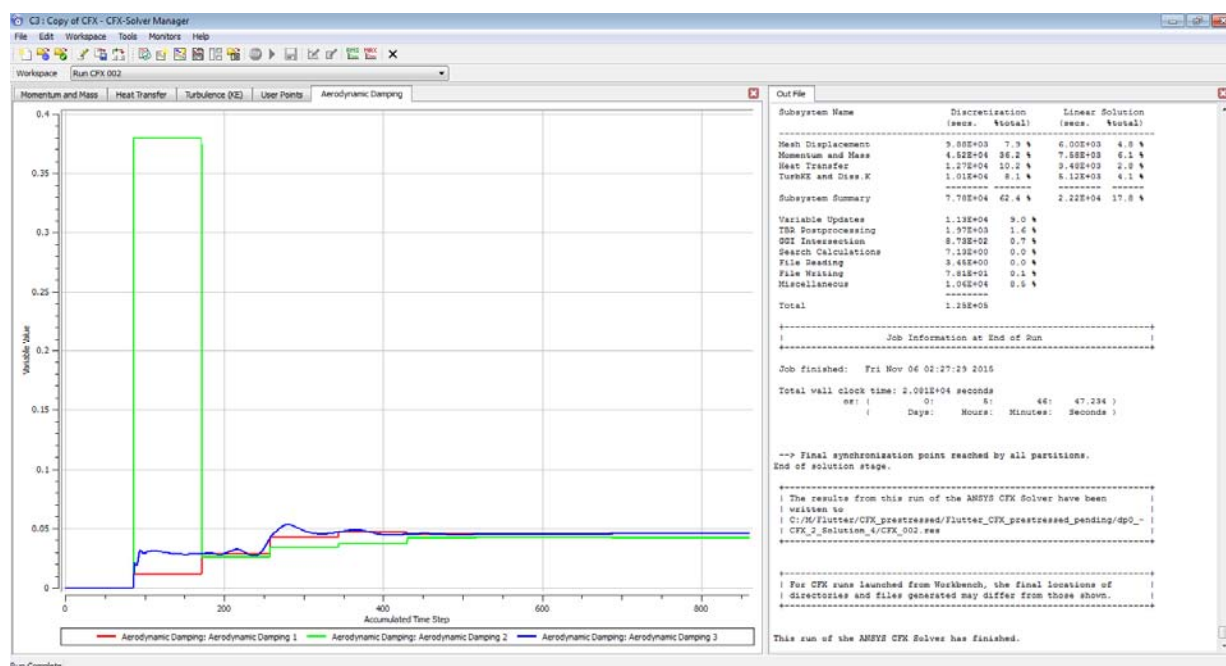
- 1) Выбор форм и частот, по которым возникновение флаттера наиболее вероятно;

- 2) Определение собственных форм и частот колебаний предварительно напряженной лопатки;

- 3) Задавшись некоторым законом колебаний лопаток (формой, частотой и амплитудой), проводится нестационарный аэродинамический расчет обтекания колеблющейся лопатки;

- 4) По знаку аэродинамического демпфирования определяем устойчивость по соответствующей форме. Положительное значение свидетельствует об устойчивости лопатки к флаттеру, отрицательное – к склонности.

В качестве примера рассмотрим расчет лопатки компрессора стационарной газотурбинной установки. Исходными данными выступают: частота вращения равная 6850 об/мин. и основные параметры потока (давление, температура, массовый расход). Интересующей является первая форма колебаний. При расчете по второму пункту, по выше описанной методике, была определена первая изгибная форма и частота колебания лопатки, которая составила 471,82 Гц. Для предварительного напряжения лопатки были приложены центробежные силы. Далее был проведен нестационарный аэродинамический расчет обтекания колеблющейся лопатки и определено аэродинамическое демпфирование. Результат расчета представлен на рисунке. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что данная лопатка устойчива к флаттеру по данной частоте при данных условиях.



### Результат расчета аэродинамического демпфирования

Таким образом, используя данную методику, был произведен расчет аэродинамического демпфирования лопатки в программном комплексе ANSYS. По полученным результатам можно судить о склонности лопатки к возникновению флаттера еще на этапе её проектирования, что позволяет существенно снизить риск поломки во время работы и, тем самым, увеличить надежность и эффективность работы установки, улучшить ее экономические характеристики.

### Список использованных источников

1. Августиневич В. Г. Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях: научное издание / В. А. Августиневич, Ю. Н. Шмотин [и др.] М. : Машиностроение, 2005. 536 с.
2. ANSYS CFX Help, Release 14.0 Ansys Inc., 2007.

УДК 669.184.15

Понаморов М. М., Картавец С. В.  
 Магнитогорский государственный технический университет  
 ponamoremikhail@mail.ru

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

**Аннотация.** В работе рассмотрен вариант эффективной утилизации теплоты дымовых газов за методической печью с выработкой нового топлива. Произведен анализ влияния нового вида топлива на нагрев металла.